

**С.В. Иванов**, к.г.н., **Ю.О. Паламарчук**, асп.  
Одесский государственный экологический университет

## ДИАГНОЗ И РАСЧЕТ ОСАДКОВ ВО ВНЕТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТАХ В МОДЕЛИ MM5

*В данной работе исследуются особенности количественного прогноза осадков с использованием модели MM5v3.7 и оцениваются систематические ошибки модели при расчете полей осадков над Атлантикой и Европейским континентом. Оценка точности расчетов основана на сравнении полей модели с данными ре-анализа ERA40. Установлено, что модель перераспределяет влагу из средней и верхней тропосферы в пограничный слой. Максимум систематической ошибки по вертикали находится на поверхности 850 гПа. Модель завышает количество осадков, особенно конвективных, над теплой морской поверхностью и перераспределяет осадки между обложными и ливневыми типами в области малоподвижной депрессии в высоких широтах над океаном. В областях с интенсивными осадками характерно наличие фазовой ошибки. Ранее определенная как наиболее оптимальная для прогноза основных метеорологических величин в умеренных широтах в зимний период комбинация схем параметризаций демонстрирует наиболее качественные результаты и при расчете осадков.*

**Ключевые слова:** конвективные и крупномасштабные осадки, систематическая ошибка модели, схемы параметризации.

**Введение.** Количественный прогноз осадков остается одним из самых проблематичных вопросов, несмотря на значительный прогресс в численном моделировании атмосферных процессов. Согласно отчетам международных прогностических центров [1-3], качество прогноза осадков даже с использованием простейшего критерия “Да-Нет” за последние 20 лет не изменилось. Проблемы расчета осадков, а также облачности, обусловлены целым рядом причин. Основными среди них следует считать сложную микрофизику процессов, которая продолжает интенсивно изучаться; сильно нелинейную динамику развития облачности и формирования осадков, которая не всегда адекватно может быть описана имеющимися в наличии схемами; мезомасштабность процессов, что требует высокого разрешения модели, как по горизонтали, так и по вертикали. В отличие от других метеорологических величин, прогноз осадков и оценка качества таких прогнозов имеют две отличительные особенности. Во-первых, относительно невысокую репрезентативность данных наблюдений и узлов модельной сетки, обусловленную тем, что, с одной стороны, пространственный масштаб осадков, как правило, меньше разрешения сетки или расстояния между наземными станциями наблюдений, а с другой стороны, дистанционные методы с высоким разрешением не обеспечивают необходимую точность измерений [4, 5]. Вторая особенность определяется так называемой “фазовой ошибкой”, когда модель достаточно хорошо воспроизводит пространственную структуру и интенсивность осадков, но смещает местоположение этих структур. В этом случае, количественная оценка прогноза осадков по области дает удвоенную ошибку. Формирование фазовой ошибки вызвано, в определенной степени, численными эффектами. Дискретизация по вертикали и аппроксимация по заранее задаваемым законам профилей температуры и влаги вносит погрешность при определении уровня конденсации и вертикального распределения влаги в атмосфере. В зависимости от знака такой погрешности наблюдается либо недооценка осадков и их преждевременное выпадение от реального местонахождения, либо переоценка осадков и перенос их вдоль атмосферного потока. Здесь можно отметить, что сходный вычислительный эффект дискретизации по вертикали известен и в проблеме восстановления высоты облачности по данным спутниковых измерений [6, 7].

Следует также упомянуть о роли начальных условий. Много работ за последние годы посвящено исследованию чувствительности модели к ошибкам в начальных условиях и усвоения данных по осадкам и облачности [8-11]. Абсолютное большинство из них основывается на вероятностном подходе. В частности, в [8] представлена методология, анализ схемы восстановления по вертикали облачного покрова и оценка влагосодержания в столбе атмосферы. В [9] приводится схема, основанная на совмещении вероятностного краткосрочного прогноза по ансамблю с детерминированным численным прогнозом на сетке с более высоким разрешением. В [10] установлена высокая чувствительность мезомасштабной изменчивости осадков к ошибкам в начальных данных на фоне стабильного воспроизведения общей синоптической ситуации в различных численных экспериментах. В [11] сформулировано предельное соотношение для ошибки прогноза в зависимости от продолжительности прогноза с учетом ошибки в начальных данных.

Таким образом, можно заключить, что количественный прогноз осадков, с одной стороны, зависит от совершенства модели, или ее систематической ошибки, а с другой стороны, от случайных (и в меньшей мере, систематических) ошибок в начальных данных. При краткосрочных расчетах, когда наблюдается монотонный рост ошибки прогноза, разделить эти два типа ошибок невозможно. В тоже время, продолжительное интегрирование, когда ошибка прогноза достигает своего насыщения, а региональная модель приспособляется к переменным во времени граничным условиям, позволяет исследовать систематические ошибки модели, отделив их от ошибок стохастического характера в начальных данных. Более детально такой подход описан в следующем разделе.

**Материалы и методы исследования.** В данной работе исследовалась систематическая ошибка расчета осадков в модели MM5. Диагноз проводился над Северной Атлантикой и Европейским континентом для зимнего периода 2002 года. Зимняя циркуляция считается более показательной для моделирования крупномасштабных процессов [12], чем летняя, в которой преобладают мезомасштабные конвективные процессы, или чем осенняя и весенняя, при которых моделирование процессов перестройки циркуляции в большей степени чувствительно к ошибкам в начальных условиях.

Результаты моделирования сравнивались с данными ре-анализа ERA40 [13]. Для минимизации ошибки репрезентативности горизонтальное разрешение модельной сетки было выбрано максимально близким к разрешению ре-анализа с Гауссовой сеткой N80. Размер модельной широтно-долготной сетки составлял 75 x 139 узлов и 33 уровня по вертикали. Вертикальное разрешение в нижнем километровом слое равнялось примерно 100 м и постепенно увеличивалось к верхней границе, расположенной на уровне 10 гПа.

Сравнение полей модели и ре-анализа проводилось в модельном пространстве, что позволяло использовать одну и ту же схему интерполяции при формировании начальных условий и выходных полей модели.

**Численные эксперименты** выполнены с двумя комбинациями схем параметризаций, 5243 и 5653, отобранными по результатам предыдущих исследований систематической ошибки модели MM5 (табл.) [14]. Обе комбинации включают микрофизику Рейснера [15] и схему CCM2 параметризации радиационных процессов [16], но используют различные схемы описания кучевой конвекции и процессов в планетарном пограничном слое (ППС). Одна из них, 5243, использует схему кучевой конвекции Антея-Куо [17] и схему Eta [18] для ППС. Эта комбинация имеет

наименьшую систематическую ошибку по критерию DIF (сумма расхождений между полями модели и ре-анализа). Другая комбинация, 5653, основана на схемах Каина-Фритча [19] и MRF [20] для кучевой конвекции и ППС, соответственно. Она наиболее оптимальна в смысле среднеквадратического отклонения полей модели от полей ре-анализа (критерий STD). Кроме того, эта комбинация схем была определена как оптимальная в общем, т.е. с учетом систематических ошибок для основных прогностических величин (температура, геопотенциал, влажность и ветер).

**Результаты численных экспериментов.** Особенности моделирования полей влажности и осадков при использовании различных схем параметризации исследовались на основе сравнения полей модели и ре-анализа в пространстве модели. Это позволило достигнуть однородности получаемых результатов, которые представлены в этой работе в различных формах. В частности, приводятся средние вертикальные профили и осредненное по области моделирования пространственное распределение систематической ошибки влажности, а также изменения во времени количественных оценок ошибок различных типов осадков и пространственное распределение этих ошибок на определенные моменты времени.

На рис.1 показаны вертикальные профили систематической ошибки влажности, осредненные по всей области за двухмесячный период интегрирования модели. Эти профили получены с использованием двух критериев: среднеквадратичного отклонения между полями модели и ре-анализа (а) и обычной разности с учетом знака (б). Распределение по вертикали абсолютных значений систематической ошибки влажности достаточно близко для обеих комбинаций схем параметризаций и характеризуется следующим. В пределах пограничного слоя ошибка возрастает от поверхности земли к верхней границе атмосферы почти в два раза, с 10 % приблизительно до 20 %. В средней и верхней тропосфере она сохраняется примерно постоянной, около 20-22 %, а далее, к верхней границе тропосферы резко уменьшается. Последний факт можно объяснить достаточно просто. Формирование облачности верхнего яруса в средних широтах связано с крупномасштабными и инерционными во времени атмосферными образованиями, которые уверенно моделируются с незначительными ошибками, тогда как облачность среднего яруса в большей степени связана с сильно нелинейными быстро развивающимися бароклинными структурами, моделирование которых сопряжено с определенными проблемами, особенно в зимний период.

Таблица - Весовые коэффициенты систематической ошибки модели для относительной влажности при различных комбинациях схем параметризаций

Ошибка	Параметризация							
	5243	5244	5253	5254	5643	5644	5653	5654
STD	2,36	2,06	4,24	4,18	1,90	4,47	<b>1,81</b>	3,13
DIF	<b>1,91</b>	3,33	3,77	3,22	3,84	5,28	2,41	2,04
Общая	<b>4,27</b>	5,39	8,01	7,4	5,74	9,75	<b>4,22</b>	5,17

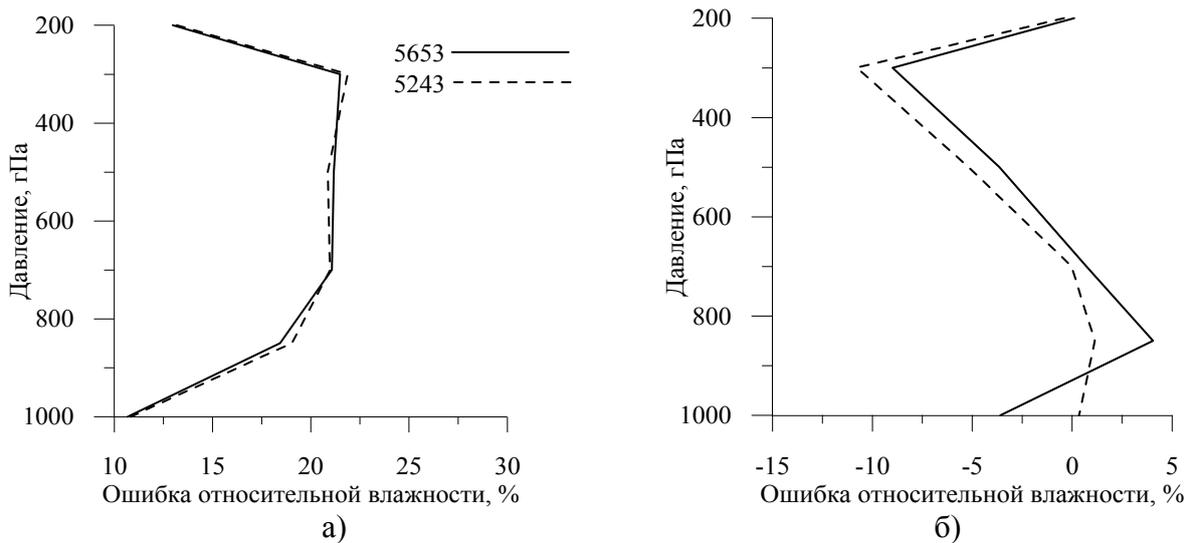
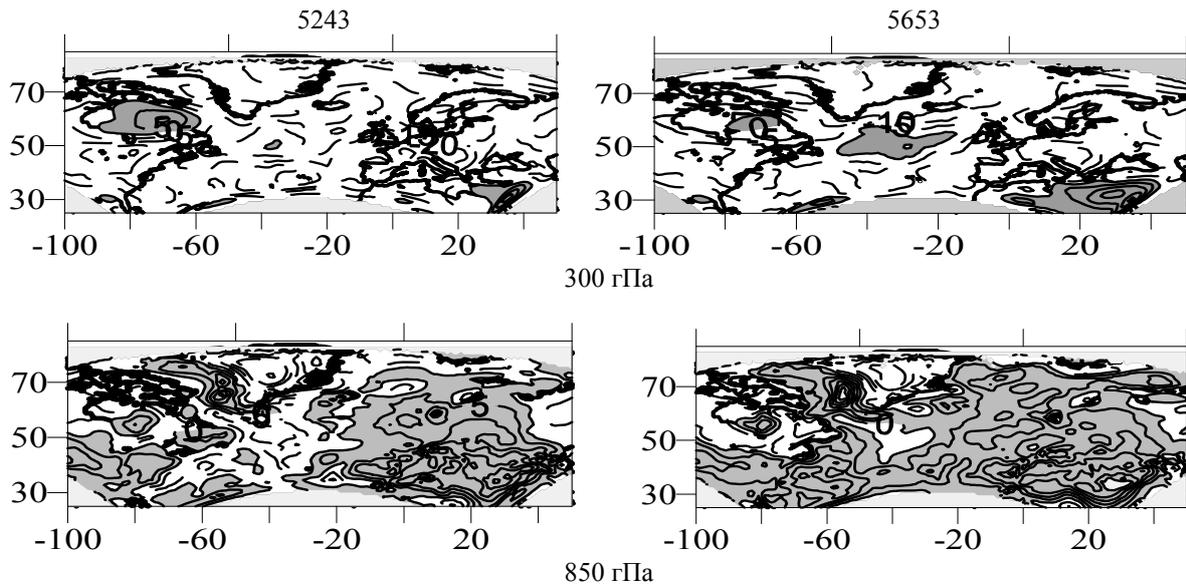


Рисунок 1 - Средние вертикальные профили систематической ошибки модели для относительной влажности: (а) абсолютное значение ошибки, (б) ошибка с учетом знака.

Систематическая ошибка с учетом знака также сходна для двух выбранных комбинаций в верхней половине тропосферы, где модель недооценивает относительную влажность. Максимальная величина ошибки отмечается на поверхности 300 гПа. В то же время, принципиальные различия между схемами параметризации отмечаются в нижнем 3-х километровом слое (рис.1б). Здесь схема кучевой конвекции Каина-Фритча переоценивает влажность по сравнению с ре-анализом. Максимальная ошибка наблюдается на уровне 850 гПа. Средняя по области систематическая ошибка модели при использовании схемы Антея-Куо близка к нулю в слое от поверхности земли до 700 гПа, что могло бы свидетельствовать об оптимальности данной схемы для моделирования облачности и осадков. В дальнейшем будет показано, что такой результат является скорее особенностью (или недостатком) использования критерия простой разности при осреднении полей по пространству или процессов по времени.

Пространственное распределение систематической ошибки относительной влажности, осредненной за двухмесячный период интегрирования модели, показано на рис.2 (по осям географическая широта и долгота). Основная особенность заключается в том, что в нижней тропосфере модель переоценивает относительную влажность, а в средней (не показано) и верхней тропосфере недооценивает ее, т.е. в модели имеет место перераспределение влаги с верхний слоев атмосферы в нижние. Такое перераспределение, в общем, характерно для всех схем параметризаций, хотя некоторые различия в деталях могут быть отмечены. Так, с комбинацией 5243 модель завышает влажность на нижних уровнях над континентами и прилегающими к ним частями Атлантики, тогда как над центральной частью Северной Атлантики влажность существенно недооценивается. Такое разнонаправленное распределение различий между полями в нижней части тропосферы до уровня 700 гПа приводит к тому, что средняя по модельной области систематическая ошибка с использованием схемы Антея-Куо близка к нулю (рис.1б).

При использовании комбинации 5653 область положительных значений систематической ошибки в нижней тропосфере охватывает весь регион, за исключением небольшого района в центре Северной Атлантики.



Изолинии отрицательных значений ошибки проведены пунктиром, а области положительных значений выделены серым фоном.

Рисунок 2 - Пространственное распределение систематической ошибки относительной влажности на изобарических поверхностях 300 (вверху) и 850 гПа (внизу) для комбинаций схем параметризаций 5243 (слева) и 5653 (справа).

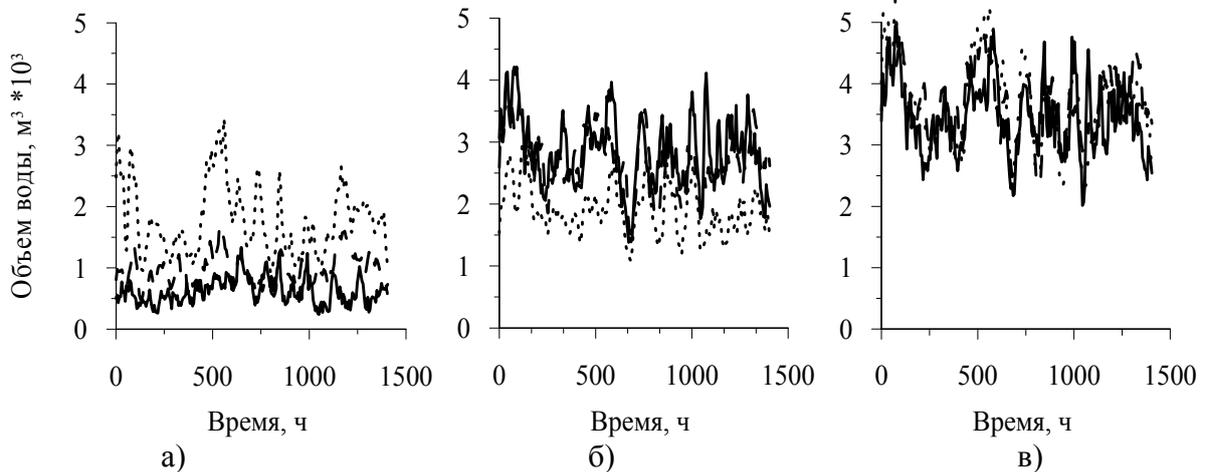
Над ним в средней и верхней тропосфере наблюдается очаг положительных значений систематической ошибки влажности. Его местоположение совпадает с основной областью перемещения зимних циклонов (шторм-треки). Этот район характеризуется интенсивным взаимодействием холодного воздуха, распространяющегося с Северной Америки, с теплой поверхностью океана. По-видимому, модель не совсем точно способна описать сложные процессы, происходящие в этом случае в пограничном слое атмосферы и развитие конвекции в тыловой части циклонов, что и формирует данный очаг систематической ошибки. В пользу того факта, что модель имеет определенные проблемы описания распространения воздушного потока над теплой морской поверхностью, свидетельствует и другой аналогичный очаг над восточной частью Средиземноморья.

На рис.3 (по осям географическая широта и долгота) показаны кривые временного хода интегрального по всей области моделирования объема различных типов осадков. Кривые приведены для ре-анализа ERA40 (сплошная кривая) и модели MM5 с параметризациями 5653 (пунктирная кривая) и 5243 (точечная кривая). Как видно, общее количество осадков и их временная изменчивость воспроизводятся в модели достаточно надежно (рис.3в) при использовании обеих параметризаций. Средняя ошибка составляет примерно 0,03 мм. Однако, точность моделирования отдельных типов осадков (конвективных и крупномасштабных) различными схемами параметризаций различается существенно.

В силу особенностей численной реализации в модели рассчитываются два типа осадков: конвективные (по типу ливневых), выпадающие из облаков вертикального развития; крупно-масштабные (по типу обложных), различного физического происхождения, связанные с крупно-масштабными процессами, реализуемыми на расчетной сетке. Для удобства осадки в дальнейшем будут упоминаться как ливневые и крупномасштабные. Средняя ошибка расчета крупномасштабных осадков при использовании комбинации 5653 равна -0,02 мм (рис.3б). Несколько больше ошибка расчета конвективных осадков, до +0,05 мм (рис.3а). Комбинация 5243 со схемой

кучевой конвекции Антея-Куо переоценивает ливневые осадки в среднем на +0,17 мм и недооценивает обложные на -0,14 мм, т.е средняя ошибка этой схемы в 3-7 раз выше, чем у схемы 5653. Такие существенные неточности при расчетах количества осадков между типами сказывается в последующем и на их пространственной структуре.

Средние значения ошибок могут быть мало показательными при исследовании такой атмосферной величины как осадки, так как наиболее интересными являются случаи экстремальных осадков, с которыми связаны и бóльшие неточности в расчетах.



Сплошная кривая соответствует ре-анализу ERA40, пунктирная – модели ММ5 с параметризацией 5653; точечная – модели ММ5 с параметризацией 5243.

Рисунок 3 - Временной ход суммарного объема выпавших осадков по области моделирования: а) конвективных; б) крупномасштабных; в) суммарных.

В проведенных численных экспериментах было установлено, что максимальные ошибки в расчетах составляли от -2 до +9 мм для ливневых и от -16 до + 20 мм для обложных осадков при использовании схемы 5653. Расчеты со схемой 5243 установили значения ошибок, соответственно, от -4 до +12 мм и от -17 до +14 мм. Как можно заметить, ошибки расчета конвективных осадков несколько меньше у схемы 5653, а крупномасштабных – у схемы 5243. Решающим в пользу схемы 5653 становится тот факт, что пространственное покрытие ошибками с большими значениями у нее значительно меньшее (рис.6).

На рис.4 приведена типичная синоптическая ситуация зимнего периода, развивающаяся над Северной Атлантикой и Европой. Для нее характерно наличие активных процессов, связанных с эволюционированием двух обширных по площади и высоких по вертикальной протяженности циклонических образований. Центр первого циклона прослеживается над Ньюфаундлендской энергоактивной зоной океана (НЭАЗО) в северо-западной Атлантике. В этом районе молодые циклонические образования, формирующиеся над Североамериканским континентом и распространяющиеся с потоком на восток, выходят на теплую океанскую поверхность в районе Гольфстрима. Это способствует их дальнейшему углублению и интенсификации за счет потоков скрытого тепла от подстилающей поверхности. Такие циклоны определяют погоду Северной Атлантики на протяжении всего зимнего периоды, формируя области их преимущественного распространения, так называемые шторм-треки.

Второе барическое образование представляет собой двуцентровую депрессию. Более глубокое ядро депрессии располагалось над северо-восточной частью Атлантического океана западнее Британских островов. Влияние этого барического

образования на погоду северной Европы проявилось зоной умеренных обложных осадков над островами и Скандинавией. Второе, менее глубокое, ядро депрессии, с которым также связаны осадки, преимущественно ливневого характера, находилось между Исландией и Гренландией. В дальнейшем, ложбина этой слабо изменяющейся депрессии формировала погоду над всей западной Европой, вследствие чего северо-западная часть покрыта зоной слабых и умеренных осадков, местами ливневых.

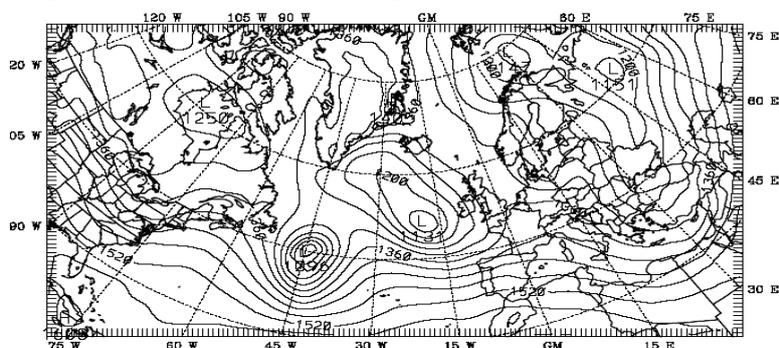
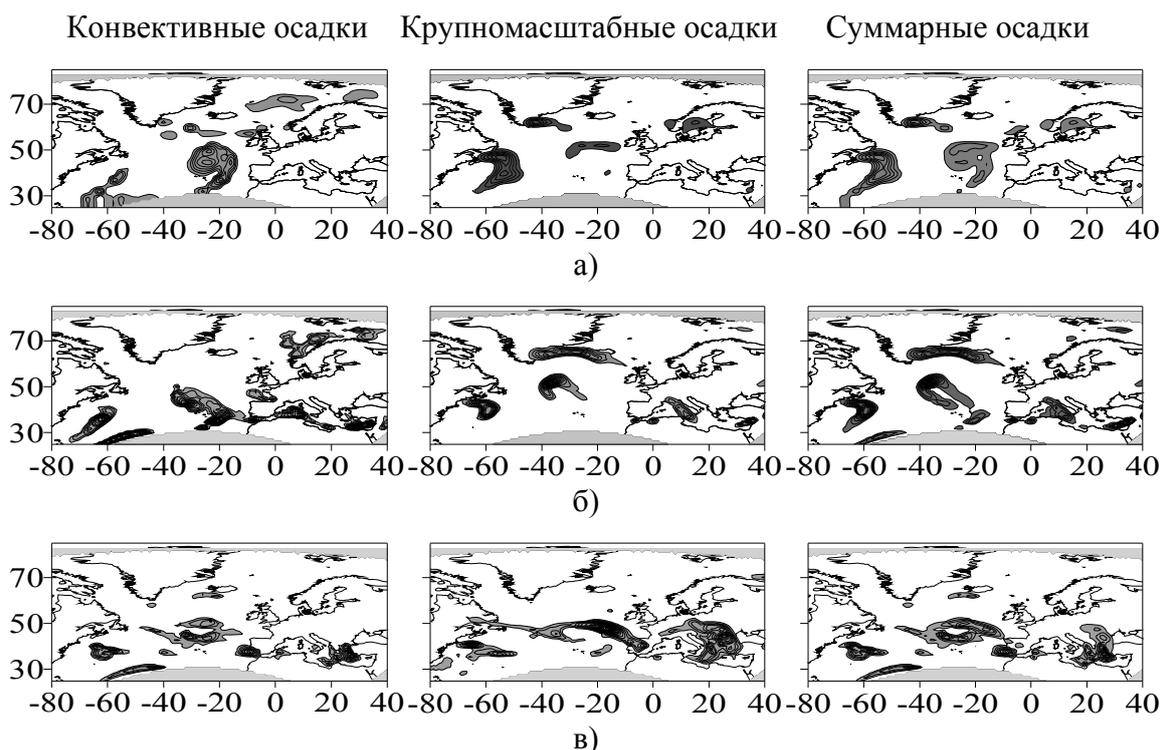


Рисунок 4 - Синоптическая ситуация над областью моделирования на 18:00 GMT 21 января 2002 года.



Для удобства изображения используются различные шкалы для конвективных и крупномасштабных осадков.

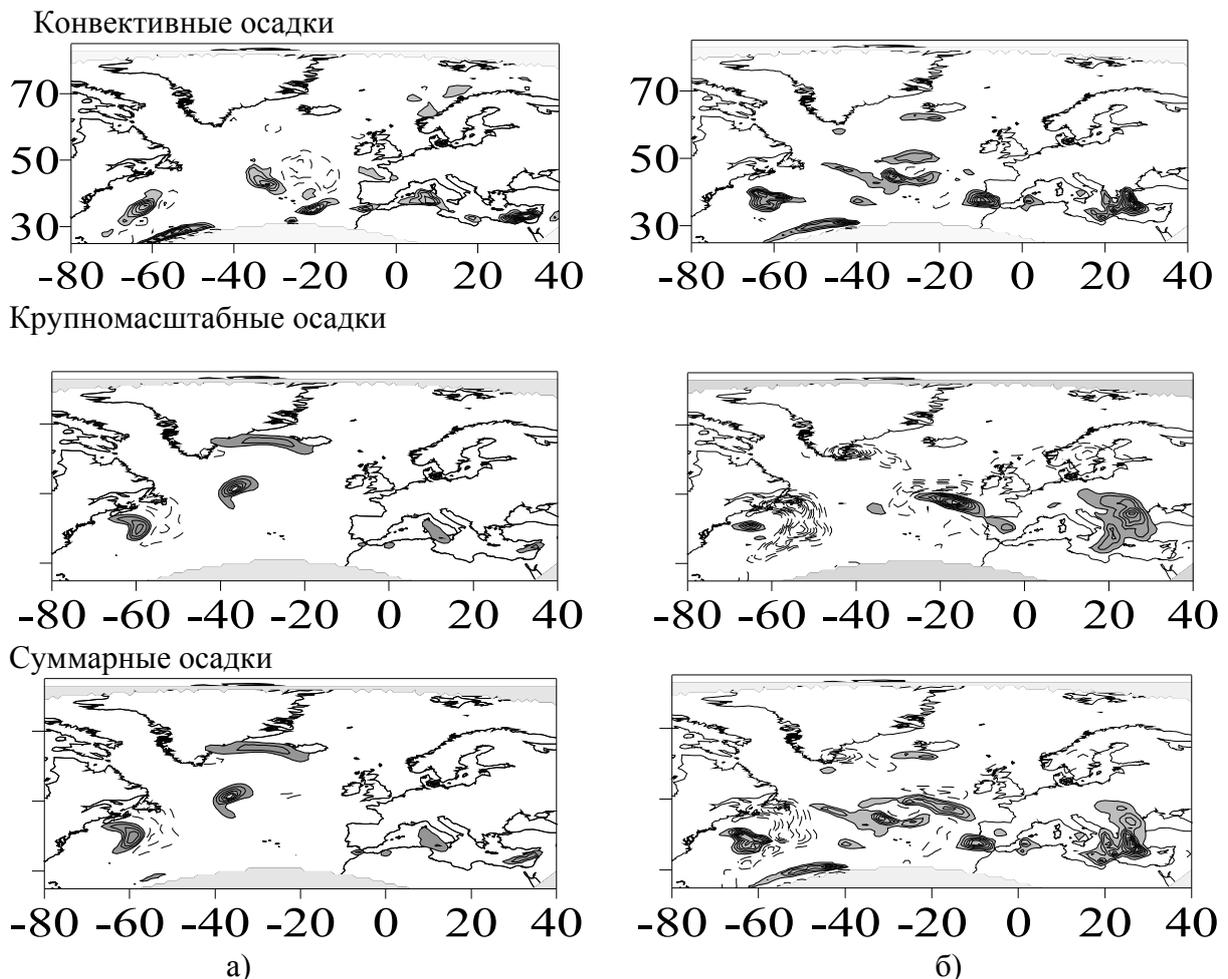
Рисунок 5 - Пространственное распределение различных типов осадков (конвективных – слева, крупномасштабных – в центре, суммарных – справа) на 18:00 GMT 21 января 2002 г по данным ре-анализа ERA40 (а) и в модели MM5 с параметризациями 5653 (б) и 5243 (в).

Над юго-западной Атлантикой и южной Европой наблюдается распространение теплого гребня. На рис.5 (по осям географическая широта и долгота) показано

пространственное распределение различных типов осадков для рассмотренной выше синоптической ситуации по данным ре-анализа (а) и модели со схемами параметризаций 5653 (б) и 5243 (в). Распределение осадков по данным ре-анализа согласуется с тем, который представлен в синоптическом обзоре.

Модель с параметризацией 5653 воспроизводит основные пространственные особенности крупномасштабных осадков в районе НЭАЗО, над Центральной Атлантикой и между Гренландией и Исландией. Однако она не улавливает слабые обложные осадки над Скандинавией. Вместе с тем, эта параметризация ложно имитирует обложные осадки над Апеннинским полуостровом и восточным Средиземноморьем, которые не наблюдались на тот период. Расчет конвективных осадков над Средиземным морем также представляется проблематичным, где они значительно завышены. Кроме того, конвективные осадки переоцениваются так же и над Скандинавией. В районе Ньюфаундленда и над центральной частью Северной Атлантики количество конвективных осадков рассчитывается удовлетворительно.

Различия между полями осадков в ре-анализе и модели с параметризацией 5653 представлены на рис.6а (по осям географическая широта и долгота). Из него можно заключить, что общее количество осадков моделируется удовлетворительно.



Изолинии отрицательных значений ошибки проведены пунктиром, а области положительных значений выделены серым фоном.

Рисунок 6 - Различия в пространственном распределении различных типов осадков (см. рис.5) между данными ре-анализа ERA40 и параметризациями 5653 (а) и 5243 (б).

Среди характерных географических регионов и атмосферных форм, с которыми связаны типичные систематические ошибки, можно выделить следующие. Модель переоценивает осадки всех типов над Средиземноморьем. Причем, для крупномасштабных осадков систематическая ошибка существенна по величине, но локализована в двух областях, над Апеннинскими и небольшим по площади регионом в восточной части моря. Систематическая ошибка конвективных осадков невелика по амплитуде, но охватывает практически всю акваторию Средиземного моря. Обложные осадки переоцениваются моделью также в области депрессии над Исландией и побережьем Гренландии, где, согласно синоптическому обзору, наблюдаются умеренные и интенсивные осадки. При этом модель недооценивает слабые обложные осадки над Скандинавией, но переоценивает ливневые осадки над этим регионом при данной форме атмосферной циркуляции.

Установление причин таких систематических ошибок модели требует детальной проработки используемых схем параметризаций и анализа эволюции основных составляющих процессов развития облачности и осадков различных типов. Это представляется достаточно трудоемкой задачей, которая могла бы стать отдельным исследованием.

На основе имеющихся результатов тем не менее можно отметить, что описанные выше систематические ошибки в модели обусловлены следующими причинами. В одном случае, это завышение интенсивности конвективных процессов и переоценка потоков влаги от подстилающей поверхности в атмосферу над теплой водной поверхностью (пример Средиземного моря). В другом случае, перераспределение влаги от медленно развивающихся крупномасштабных процессов и связанных с ними ливневых осадков в пользу быстроразвивающейся конвекции и формирования ливневых осадков в областях стационарных или малоподвижных депрессий, но опять же над теплой океанской поверхностью (пример, к северу от Скандинавии над ветвью Северо-Атлантического течения).

Особое место занимают пространственные структуры систематической ошибки осадков над НЭАЗО и в центральной части Северной Атлантики, где отмечались умеренные и интенсивные осадки. В этих регионах соседствуют близкие по конфигурации области систематических ошибок противоположных знаков. Это является наглядным примером так называемой фазовой ошибки, когда пространственные формы и величина осадков правильно имитируются в модели, но смещены относительно истинного местоположения, как правило, вверх по потоку. Основная причина такого явления обусловлена дискретным характером модели. При аппроксимации непрерывных профилей температуры и влажности на заданные модельные уровни происходит смещение вниз на половину модельного уровня основных характеристик вертикальной структуры облачности, в том числе, уровня конденсации. Это приводит к более раннему выпадению осадков. В условиях адвекции этих структур облачности и осадков общим атмосферным потоком формируется область положительной ошибки осадков (где их быть не должно) вверх по потоку от их реального местонахождения и область отрицательной ошибки расчета осадков (прогноз их отсутствия) там, где они есть.

Параметризация 5243 моделирует распределение осадков, как по пространству, так и по типам, менее реалистично (рис.5в и 6б). Величина конвективных осадков значительно переоценивается в широтной зоне 30-50° с.ш. Крупномасштабные осадки имеют фазовые ошибки с большой амплитудой по величине в районе НЭАЗО и в центре Северной Атлантики, а также переоцениваются над Балканами. Таким образом, можно заключить, что из двух наборов параметризаций, наиболее оптимальным образом воспроизводящих поля влажности [14], комбинация 5653 принципиально

лучше рассчитывает поля осадков. Комбинация 5243 в несколько раз завышает величину ливневых осадков за счет недооценки на соответствующую величину обложных осадков. Кроме того, моделирование пространственного распределения осадков при использовании схемы 5243 неудовлетворительно.

**Заключение.** Актуальность роли водяного пара в глобальном масштабе обусловлена его значительным влиянием на радиационные процессы в атмосфере. Даже небольшие изменения содержания влаги в атмосфере, как интегрального, так и распределенного по слоям, могут вызывать существенные изменения радиационного возбуждения. Исследование чувствительности моделей к ошибкам в определении содержания влаги в атмосфере стало одним из ведущих направлений в моделировании изменений климата [21].

В данной работе исследовались возможности моделирования полей влажности и осадков с помощью модели MM5. Оценка результатов моделирования основывалась на сравнении полей модели с данными ре-анализом ERA40. Расчеты выполнены для области Северной Атлантики и Европейского континента.

Результаты показали, что установленная в предыдущих исследованиях как наиболее оптимальная для моделирования основных прогностических величин (геопотенциал, температура, влажность) комбинация схем параметризаций 5653 остается таковой и при расчете осадков. Эта комбинация включает схемы смешанной фазы Рейснера для микрофизических процессов [17], Каина-Фритча для кучевой конвекции [19], MRF Хонга-Пена для пограничного слоя атмосферы [20] и CCM2 для радиационных процессов [16]. Данная комбинация достаточно реалистично воспроизводит поля влажности, а также количество, формы и пространственное распределение осадков. Вместе с тем, для этой комбинации параметризаций характерны следующие систематические ошибки. Она перераспределяет по вертикали влагу из средней и верхней тропосферы в нижнюю. Таким образом, относительная влажность в пределах пограничного слоя примерно до поверхности 850 гПа оказывается завышенной, а далее до поверхности 300 гПа влажность недооценивается. Географически переоценка влаги в пограничном слое наблюдается в широтном поясе от 30° до 50° с.ш. Суммарное количество осадков и их временная изменчивость в модели согласуются с данными ре-анализа. При этом ливневые осадки несколько переоцениваются, а обложные – недооцениваются. Это особенно характерно для области малоподвижной депрессии в высоких широтах над теплой океанской подстилающей поверхностью. Кроме того, модель имитирует завышенное количество конвективных осадков над теплой поверхностью Средиземного моря. Характерным является также наличие фазовых ошибок для всех типов осадков.

Основными причинами формирования таких систематических ошибок в модели можно считать несовершенство описания интенсивных процессов взаимодействия атмосферы с океаном, в первую очередь, расчет потоков влаги, особенно над теплой подстилающей поверхностью (завышенное количество осадков над теплой водной поверхностью). Доминирование быстроразвивающихся конвективных процессов над более медленными крупномасштабными процессами в модели приводит к перераспределению влаги в пользу первых. Фазовые ошибки обусловлены дискретизацией вертикальных профилей влаги и температуры. Такие выводы согласуются с работой [22], авторы которой детально исследовали вертикальное распределение ошибок модели и пришли к заключению, что проблема связана, главным образом, с моделированием вертикального переноса влаги.

Использование схемы Антея-Куо [17] для кучевой конвекции и схемы Eta Меллора-Ямады [18] для пограничного слоя (комбинация 5243) дает неплохие интегральные оценки влагосодержания в пределах пограничного слоя атмосферы по

всей области моделирования. Однако, количество конвективных осадков завышается почти в три раза, а обложные осадки настолько же недооцениваются. Кроме того, пространственное распределение осадков, как в целом, так и по отдельным видам, представляется нереалистичным и значительно отличается от полей осадков в ре-анализе. Особенно большие различия наблюдаются над Средиземным морем.

Таким образом, можно утверждать, что оптимальной для моделирования, как крупномасштабных динамических свойств атмосферы, так и микрофизических особенностей, остается комбинация схем параметризаций 5653.

Расчеты выполнены на компьютере Sun Blade 2500 Silver в рамках проекта NATO SfP 981044.

### Список литературы

1. Toth Z., Kalnay E., Tracton S. M., Wobus R., Irwin J. A synoptic evaluation of the NCEP Ensemble // Weather and Forecasting. 1997. – v.12. – p.140-153.
2. Raible C. C., Bischof G., Fraedrich K., Kirk E. Statistical single station short-term forecasting of temperature and probability of precipitation: Area interpolation and NWP – combination // Weather and Forecasting. 1999. – v.14. – p.203-214.
3. Theis S., Damrath U., Hense A., Renner V. Statistical postprocessing of weather parameters for the DWD high resolution model LM // 1st SRNWP Workshop on statistical adaptation, SWSA. 2000. Wien.
4. Austin P. M. Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall // Mon.Wea.Rev. 1987. – v.115. – p.1053–1070.
5. Crum T. D., Saffle R. E., Wilson J. W. An update on the NEXRAD program and future WSR-88D support to operations // Weather and Forecasting. 1998. – v.13. – p.253–262.
6. Pierce D.W., Barnett T.P., Fetzer E.J., Gleckler P.J. Three-dimensional tropospheric water vapor in coupled climate models compared with observations from the AIRS satellite system // Geophys.Res.Let. 2006. - v.33. – L21701.
7. Huang Y., Ramaswamy V., Soden B.J. An investigation of the sensitivity of the clear-sky outgoing longwave radiation to atmospheric temperature and water vapor // J.Geophys.Res. 2007. – v.112. – D05104.
8. Bauer P., Lopez P., Salmond D., Benedetti A., Saarinen S., Bonazzola M. Implementation of 1D+4D-Var assimilation of precipitation-affected microwave radiances at ECMWF // Q.J.R.Meteorol.Soc. 2007. – v.132. – p.2277-2332.
9. Bowler N.E., Pierce C.E., Seed A.W. STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme which merges an extrapolation nowcast with downscaled NWP // Q.J.R.Meteorol.Soc. 2007. – v.132. – p.2127-2155.
10. Bei N., Zhang F. Impacts of initial condition errors on mesoscale predictability of heavy precipitation along the Mei-Yu front of China // Q.J.R.Meteorol.Soc. 2007. – v.133. – p.83-99.
11. Bousquet O., Lin C.A., Zawadzki I. Analysis of scale dependence of quantitative precipitation forecast verification: A case-study over the Mackenzie river basin // Q.J.R.Meteorol.Soc. 2007. - v.132. – p.2107-2125.
12. Дымников В.П., Филатов А.Н. Устойчивость крупномасштабных атмосферных процессов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 240 с.
13. Uppala S.M., Kållberg P.W., Simmons A.J., Andrae U., etc. The ERA-40 re-analysis // Q.J.R.Meteorol.Soc. 2005. – v.131. – p.2961-3012.
14. Иванов С.В., Паламарчук Ю.О. Оценка систематической ошибки модели MM5 при различных схемах параметризации // Украинский Гидрометеорологический журнал. 2007. - №2 (в печати).
15. Dudhia J. A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front // Mon.Wea.Rev. 1993. – v.121. – p.1493-1513.
16. Hack J. J., Boville B. A., Briegleb B. P., Kiehl J. T., Rasch P. J., Williamson D. L. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM2) // NCAR Technical Note. 1993. - NCAR/TN-382+STR. - 120 pp.
17. Grell G. A., Dudhia J., Stauffer D.R. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5) // NCAR Technical Note, 1994. - NCAR/TN-398+STR. - 117 pp.
18. Janjic Z.I. The step-mountain Eta coordinate model: Further development of the convection, viscous sublayer, and turbulent closure schemes // Mon.Wea.Rev. 1994. – v.122. – p.927-945.

19. Kain J. S., Fritsch J.M. The representation of cumulus convection in numerical models. Amer. Meteor. Soc., 1993. - 246 pp.
20. Hong S.-Y., Pan H.-L. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model // Mon. Wea. Rev. 1996. – v.124. – p.2322-2339.
21. Climate Change 2001. Ed. Houghton J.T. – Cambridge Univ. Press, New York. 2001. – 881 pp.
22. Fetzer E.J., Lambrigtsen B.H., Eldering A., Aumann H.H., Chahine M.T. Biases in total precipitable water vapor climatologies from Atmospheric Infrared Sounder and Advanced Microwave Scanning Radiometer // J.Geophys.Res. 2006. – v.111. – D09S16.

#### **Діагноз та розрахунок опадів в поза тропічних широтах в моделі ММ5.**

**Іванов С.В., Паламарчук Ю.О.**

*В цій роботі досліджуються особливості кількісного прогнозу опадів при використанні моделі ММ5 та оцінюються систематичні помилки моделі при розрахунку полів опадів над Атлантикою та Європейським континентом. Оцінка точності розрахунків оснований на порівнянні полів моделі з даними ре-аналізу ERA40. Встановлено, що модель перерозподіляє вологу з середньої та верхньої тропосфери в граничний шар. Максимум систематичної помилки у вертикальному напрямку знаходиться на поверхні 850 гПа. Модель завищує кількість опадів, особливо конвективних, над теплою морською поверхнею та перерозподіляє опади між облоговими та зливовими типами в області малорухомої депресії в високих широтах над океаном. В областях з інтенсивними опадами характерна наявність фазової помилки. Раніше визначена як найбільш оптимальна для прогнозу основних метеорологічних величин в помірних широтах в зимовий період, комбінація схем параметризації демонструє найбільш якісні результати і при розрахунку опадів.*

**Ключові слова:** конвективні та крупномасштабні опади, систематична помилка моделі, схеми параметризації.

#### **Diagnosis and extratropical precipitation in the MM5 model. Ivanov S.V., Palamarchuk J.O.**

*Quantitative precipitation forecasts are diagnosed and systematic model errors of precipitation over the North Atlantic and European continent are evaluated in the MM5v3.7 model. Quantitative estimates are based on a comparison of model fields against ERA40 reanalysis data. It is shown that the model redistributes water vapor from the middle and upper atmosphere toward the boundary layer. The maximum of the systematic humidity error in the vertical direction is located at the 850 hPa. The model overestimates precipitation, particularly convective form, over the warm ocean surface. Also, the model redistributes water from large scale to convective precipitation within a stationary or slow depression in the high latitudes over the ocean. The phase error is a typical phenomenon in the regions of the heavy and moderate precipitation rates. The set of parameterization schemes earlier defined as an optimal for major forecast variables in extratropics during the winter season has found a conformation for precipitation forecasts as well.*

**Keywords:** convective and large scale precipitations, the systematic model error, the set of parameterization schemes.